

인버터를 이용한 전기분해전원 설계에 관한 연구

이정민, 목형수, 최규하, 최동규*
전국대학교 전기공학과 서울정공(주)*

A Study on the Design of Electrolysis Power Using Inverter

J.M Lee, H.S. Mok, G.H Choe, D.G. Choe*
Dept. of Electrical Eng. Kon-Kuk Univ. Seoul Precision CO. LTD.*

ABSTRACT

By this time, Diode Rectifier or SCR has been used to gain DC Voltage for Electrolysis Power. Generally DC Voltage is produced from rectifier shall be transformed before rectifier using step-down transformer to obtain adaptable DC Voltage, rectifier output. In the same way, rectifier using SCR shall obtain output voltage after step-down voltage through transformer and control of the SCR firing angle. Transformer shall be used for this two methods to adjust the voltage. But the size and weight of the transformer are increased in accordance with the increase of capacity, and the hardships are accompanied in workspace or transportation. Besides, only the value of input voltage is possible to be regulated, and the expectation of current control is almost impossible during Electrolysis. This study has conducted Design and Simulation to reduce the size and weight of transformer and to be enable voltage and current control of Electrolysis power through high-speed switching using Inverter, Electronics device.

1. 서 론

지금까지 전기분해전원용 직류전압을 얻기 위해 다이오드정류기를 사용하거나 SCR을 사용해왔다. 정류기에 의한 직류전압은 전압크기를 조절하기위해 보통 정류기 전단에 강압용 변압기를 사용하여 적당한 값으로 변환시킨 후 정류기 출력인 직류전압을 얻는다. 마찬가지로 SCR을 사용한 정류기 역시 강압용 변압기를 통해 한 번 강압시킨 다음 다이오드의 도통각을 제어하여 최종단의 출력전압을 얻게된다[1]. 이 두 방식이 모두 전압의 크기를 조절하기위해 변압기를 사용하여야 하고 용량이 증가함에 따라

변압기의 부피와 무게도 함께 증가하여 작업공간이나 운반시에 어려움이 따른다. 게다가 전기분해시 인가전압의 크기만을 제어가능하고 전류제어는 거의 생각할 수 없게 된다. 본 연구는 이러한 기존의 전기분해전원부를 전력전자 소자인 인버터를 사용하여 고속스위칭을 하므로써 변압기의 크기와 무게를 줄이고, 전압 및 전류제어가 가능하도록 설계 및 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 전기분해장치의 모델링

전기분해장치는 그림1과 같이 전해조와 양극판 및 전해액으로 구성되어 있으며, 전기에너지가 공급되면 화학적인 반응을 통하여 화학에너지로 전환되는 장치이다[2].

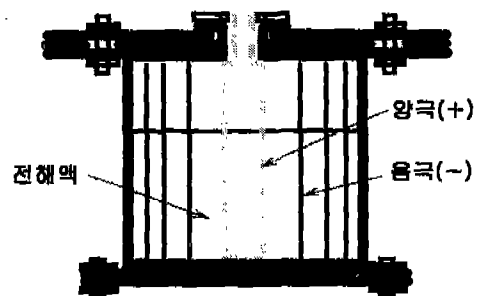


그림1. 전해조 구성

그러므로 화학에너지를 전기에너지로 다시 전환시키는 축전지의 역반응으로 간주할 수 있다. 전기분해장치는 축전지가 전기에너지를 공급받아 화학에너지로 저장하는 메카니즘과 거의 동일하다. 이 때 축전지는 전하를 충전하는 캐패시터와 같은 역할을 하므로 전기분해장치 역시 캐패시터로 모델링을 할 수 있다. 화학반응시 전자의 이동을 방해하는 요소들이 존재하므로 캐패시터에 병렬로 작은 저항성분을 고

려해야 한다. 결국 전기분해장치는 전기회로적인 면에서 R-C병렬회로로 등가가화 시킬 수 있다.

2. 인버터를 이용한 전원장치

전력전자소자인 인버터를 사용하면 서론에서 언급한 바와 같이 전원측의 강압용 변압기를 생략할 수 있다[3].

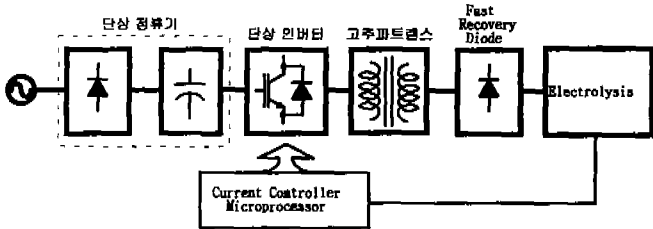


그림2. 인버터를 이용한 전원장치의 모식도

그림2와 같이 전원측의 변압기가 생략되었고 대신에 고주파트랜스와 패스트리커버리 다이오드(Fast Recovery Diode)가 추가되었다. 고주파트랜스는 1차측의 고속 스위칭된 인버터전압을 알맞은 전압크기로 강압시켜 2차측인 부하에 공급시켜준다. 이 고주파트랜스는 기존의 전원측 상용변압기에 비해 크기와 무게가 현저히 작다. 왜냐하면 사용주파수가 60[Hz]인 기존변압기 보다 수백배 큰 수십[KHz]의 교류전원으로 동작되기 때문이다. 또한 단상인버터에 제어방식을 적용할 수 있으므로 전체시스템의 효율 또한 증가시킬수 있는 효과를 얻을 수 있다. 패스트리커버리 다이오드는 고주파트랜스 2차측의 교류전압을 직류전압으로 전환시키는 정류기이다. 고주파의 전원을 전환하기 위해서는 회복시간이 보통의 다이오드보다 짧은 패스트리커버리 다이오드(보통 회복시간 t_{rr} 이 수 μ s)를 사용한다[5]. 이소자 또한 부피와 무게가 작기 때문에 전원부를 소형경량화 시키는 이점을 가지고 있다.

3. 제어방식

인버터 제어 방식에는 여러 가지가 있는데, 그 중 산업체에서 널리 사용되고 구현하기도 쉬운 삼각파 비교방식의 PI제어기를 적용하였다[3].

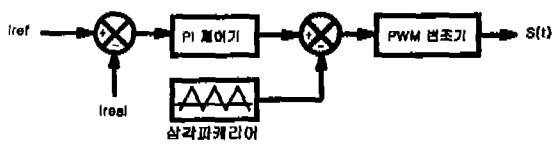


그림3. 제어블럭선도

그림3은 제어블럭선도를 표현하였다[3]. 실제전류와 기준전류신호를 비교한 후 에러신호를 PI제어기로 증폭시켜 그 값을 삼각파캐리어와 비교하여 PWM변조기에서 스위칭함수를 만들어 낸다. 스위칭함수는 인버터의 드라이버에 인가되어 인버터를 구동시키게 된다[5].

전기분해시 흐르는 전류는 위의 알고리즘에 의해서 제어된다. 앞에서 언급한 바와 같이 전해조는 전기적으로 모델링하면 큰 캐패시터성분과 병렬 저항으로 등가화할 수 있으므로 제어를 하지 않아도 캐패시터의 특성상 일정한 값이 유지된다. 보통 전기분해시 셀1개당 전압은 2~2.5V이다. 이 때 전해조에 인가된 전압(고주파트랜스의 2차전압)이 전해조전압(부하전압)보다 크게 되면 남은 부분이 생기는데 이 성분은 리액터(L)를 전해조와 직렬연결하여 리액터에서 저장되게 만든다. 결국 전류제어와 전압제어를 동시에 할 필요가 없게되고, 전류제어만이 유효하게 된다. 그림4는 전체회로도를 나타낸 것이다.

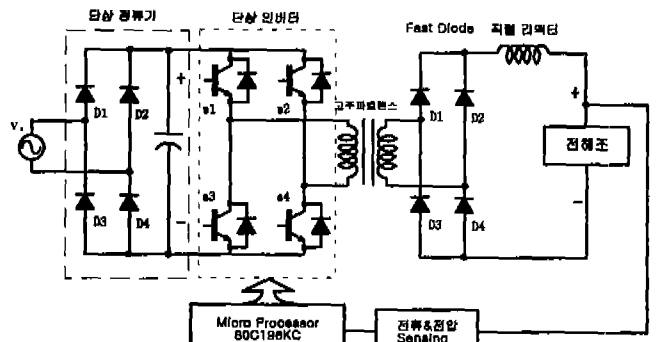


그림4. 인버터를 이용한 전원장치

4. 단상인버터 설계

단상인버터를 설계하기위하여 전원측사양을 다음 표1과 같이 결정하였다.

표1. 전원측 사양

Power Specification	
Input Voltage :	220V(rms)
Input Voltage Frequency :	60Hz
Switching Frequency :	15KHz
Load Current :	50A(rms)

우선 인버터 전단에 위치하는 정류기를 설계하였다. 단상정류기는 브리지형태인 4개의 다이오드(Diode)와 캐패시터로 구성되며, 용량을 계산하면 다음과 같다. 다이오드에 역으로 인가되는 최대입력전

압이 전원전압 첨두치의 2배이고, 입력전압의 첨두값은 실효값에 $\sqrt{2}$ 배이다. 그러므로 PIV(Peak Inverse Voltage)는 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$Diode\ PIV = 2 \times (220 \times \sqrt{2}) = 622.254\ V \quad (1)$$

부하전류가 50A이기 때문에 고주파트랜스의 변압비만큼 1차측으로는 이보다 적은 전류가 흐르므로 다이오드의 정격전류는 50A로 선정하였다.

캐패시터의 용량을 계산하기위해 그림5와 같이 시간에 따른 전압의 변동분을 이용하였다. 0부터 t_1 시간까지는 캐패시터에 전하가 충전되는 구간이고 t_1 에서 t_2 시간은 전하가 방전되는 구간을 나타낸다. 맥동전압은 t_1 전압과 t_2 전압의 변동분을 의미한다. 맥동전압이 입력전압 첨두값의 10%가 되도록 캐패시터를 설계하였다.

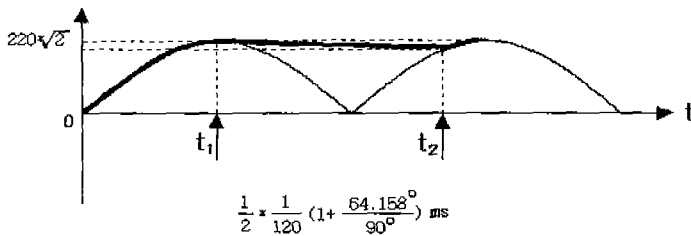


그림5. 시간에 따른 캐패시터전압

식(2)는 t_1 과 t_2 사이의 시간을 계산하는 식이다.

$$\Delta T = \frac{1}{120} * \frac{1}{2} * (1 + \frac{64.158}{90}) = 7.137\ ms \quad (2)$$

($\sin \theta = 0.9 \Rightarrow \theta = \sin^{-1} 0.9 = 64.158^\circ$)

식(3)은 캐패시터에 전하가 충·방전될 때 관계식이다.

$$i = C * \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (3)$$

식(1)에서 구한 방전시간과 맥동전압, 부하전류 50A를 식(3)에 대입하면 캐패시터의 용량을 식(4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{max} - V_{min} = \sqrt{2} * 220 * 0.1 \\ \therefore C &= \frac{\Delta T * i}{\Delta V} = \frac{0.007137 * 50}{\sqrt{2} * 220 * 0.1} \\ &= 0.0114696\ F = 11469.6\ \mu F \end{aligned} \quad (4)$$

상용화된 캐패시터를 적용하기위하여 용량을 13600[μF]으로 선정하였다.

단상인버터에 사용되는 IGBT(Insulation Gate Bipolar Transistor)는 부하전류가 50[A]이고 스위칭 주파수가 15[KHz]임을 고려하여 정격전류 145[A], 스위칭주파수가 최대 20[KHz]인 IGBT를 선정하였다. 그리고 IGBT를 구동시키는 DRIVER는 전원과 접지분리가 된 회로를 선정하였다.

전해조에 직렬연결된 리액터는 전류제어를 위해 사용되므로 그림6과 같이 스위칭주기동안에 부하전류를 50[A]의 $\pm 5\%$ 이내로 추종하도록 식(5)을 사용하여 계산하였다. 여기에서 리액터양단 전압은 패스트다이오드 출력전압에서 부하전압을 뺀 값이다. 출력전압은 셀개수를 15개로 가정하여 30[V]이다. 패스트다이오드 출력전압은 고주파트랜스의 2차측전압이므로 변압비(2:1)를 고려하여 계산하였다. 패스트다이오드 출력전압은 정류기의 직류출력전압이 280[V]이므로 변압비(2:1)를 고려하면 140[V]가 된다.

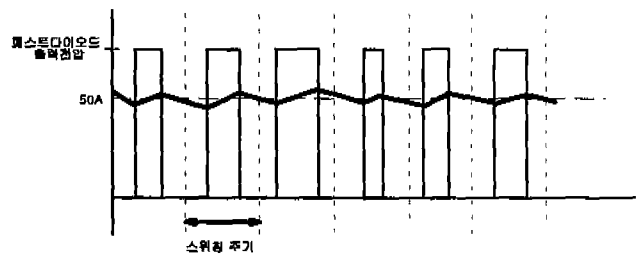


그림6. 부하전류50[A] 추종

$$v_L = v_{Diode} - v_o = 140 - 30 = 110\ [V]$$

$$v_L = L \frac{di}{dt} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} L &= v_L * \frac{\Delta T}{\Delta i} = 110 * \frac{15000}{5} \\ &= 1.4666\ [mH] \end{aligned}$$

시뮬레이션시에 리액터값을 1.5[mH]로 선정하였다.

5. 시뮬레이션결과

시뮬레이션 조건은 앞에서 설계한 대로 표2에 나타내었다.

표2. 시뮬레이션조건

Simulation Condition	
입력전압 :	220[V](rms) 60[Hz]
정류용 다이오드 & 패스트 다이오드 :	Ideal Diode
정류용 캐패시터 :	13600[uF]
고주파트랜스의 전압비 :	[2 : 1]
삼각파캐리어 주파수 :	15[KHz]
PI제어기 P gain	10
I gain	1
직렬 리액터 :	1.5[mH]
부하 캐패시터 :	1[F]
부하 저항 :	0.5[Ω]

시뮬레이션은 PSIM(Power Electronics Circuit Simulator)프로그램을 사용하였다. 첫 번째 시뮬레이션은 부하전류가 50[A]로 일정한 값을 유지하도록 제어기를 구성하여 시뮬레이션하였고, 두 번째 시뮬레이션은 부하전류가 구형파에 일정값을 합한 펄스형태의 전류를 구현하도록 제어기를 구성하고 시뮬레이션하였다. 그림7과 그림8은 부하전류가 일정한 값 50[A]를 추종하는 결과이다. 그림9와 그림10은 부하전류가 펄스형태가 되도록 시뮬레이션한 결과이다. 그림11은 고주파트랜스의 1,2차측의 전압을 나타낸다.

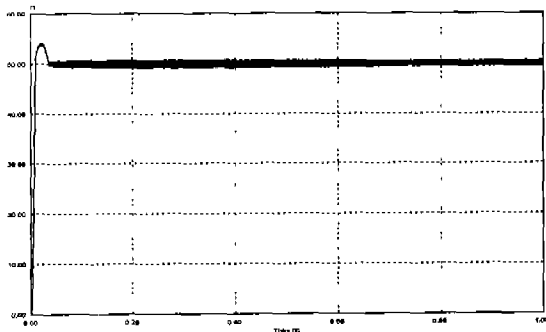


그림7. 일정한 부하전류 50[A]

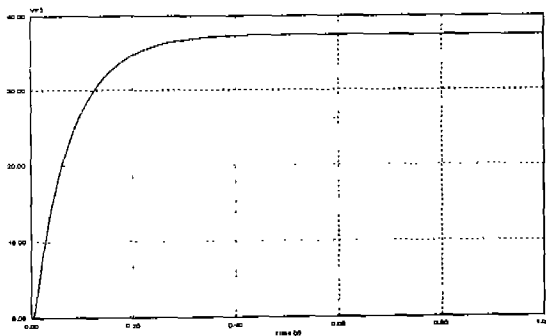


그림8. 일정부하전류시 부하전압

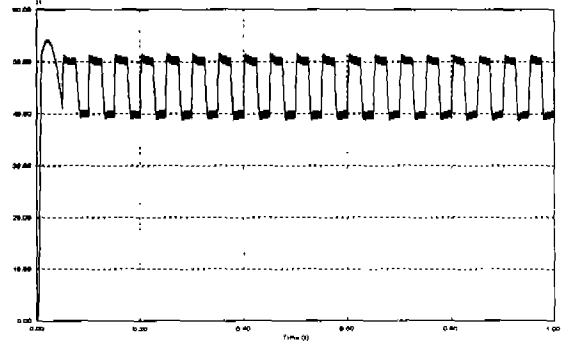


그림9. 펄스모양의 부하전류

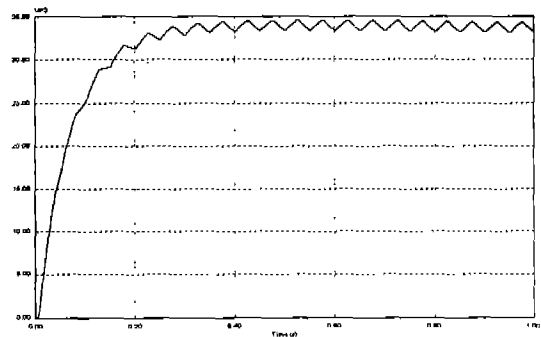


그림10. 펄스모양의 전류시 부하전압

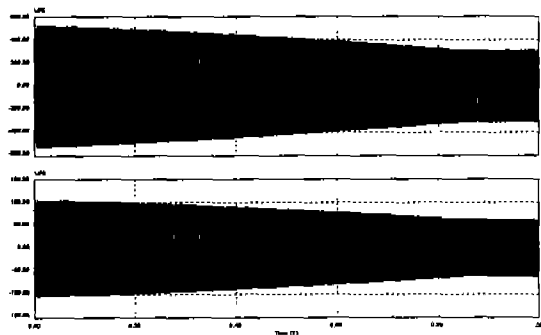


그림11. 고주파트랜스의 1차측, 2차측 전압

6. 결 론

단상인버터를 사용하여 전기분해용 전원을 설계하기 위하여 각각의 파라메타를 계산하였고 시뮬레이션에 적용한 결과, 전류제어가 가능함을 알 수 있었다. 그러므로 기존의 전기분해용 전원보다 무게와 부피가 줄어들게 되고 전류제어가 가능하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 전류제어시 기준전류신호는 펄스모양과 일정한 모양을 임의대로 선정하였는데, 이는 앞으로 제작될 실험에 적용하여 최적의 성능이 되도록 전류모양을 검출해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Lander, "Power Electronics", McGRAW, 1993, pp50~55.
- [2] 설수덕, "무기공업화학", 대영사, 1996, pp184~192.
- [3] 최규하, 채영민, "인버터 용접기의 전력변환회로 및 제어기법", 대한용접학회지 제16권 3호, 1998. 6., pp29~39.
- [4] 남문현, "제어시스템공학", 자유아카데미, 1990, pp247~264.
- [5] Mohan, "Power Electronics", WILEY, 1989, pp17,200~220